

**4. UPPER AND LOWER-SIDED INSULATIONS TYPE DIAMOND HEAT SINK AND ITS MANUFACTURE**

PAJ 05-01-00 00133752 JP NDN- 043-0175-6464-2

**INVENTOR(S)-** NAGAI, MASAKI; KUMAZAWA, YOSHIAKI; TANABE, KEIICHIRO

<b>PATENT</b>	<b>APPLICATION</b>	<b>NUMBER-</b>	10304213
<b>DATE</b>	<b>FILED-</b>		1998-10-26
<b>PUBLICATION</b>	<b>NUMBER-</b>	00133752	JP
<b>DOCUMENT</b>	<b>TYPE-</b>		A
<b>PUBLICATION</b>	<b>DATE-</b>		2000-05-12
<b>INTERNATIONAL</b>	<b>PATENT</b>	<b>CLASS-</b>	H01L023373
<b>APPLICANT(S)-</b>	SUMITOMO	ELECTRIC	IND LTD
<b>PUBLICATION</b>	<b>COUNTRY-</b>		Japan

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the thermal conductivity of a diamond heat sink and facilitate its machining by forming the whole or a portion of its vapor-phase diamond, mechanically divided portions which are ranged over the entire outer periphery of the side surface of the diamond heat sink .

**SOLUTION:** A diamond coating is applied to a substrate by a vapor-phase synthesis method (101), and the surface of the diamond is subjected to a grinding machining to concurrently machine the composite substrate so as to equalize its thickness to the one of the heat sink of a final product (102). Then, grooving is applied to the composite substrate (its bottom surface side), (103), and a process is inserted continuously into the manufacture of the heat sink , as necessary, wherein the composite substrate is supported directing its diamond side to upper side to apply a grooving by a laser to its diamond side (104). Subsequently, metallization processings are applied to the upper and lower sides of the composite substrate (105), and as a final process, the vapor-phase diamond composite substrate is divided in one breath into a plurality of partial portions by applying to it mechanical forces along its grooves machined through the diamond sawings, so as to manufacture (106) the heat sink of the final product.

**COPYRIGHT:**

(C)2000,JPO

**NO-DESCRIPTORS .**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-133752

(P2000-133752A)

(43) 公開日 平成12年5月12日 (2000. 5. 12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

H 0 1 L 23/373

H 0 1 L 23/36

M 5 F 0 3 6

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平10-304213

(22) 出願日

平成10年10月26日 (1998. 10. 26)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 長井 雅樹

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 熊澤 佳明

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 100072844

弁理士 萩原 亮一 (外2名)

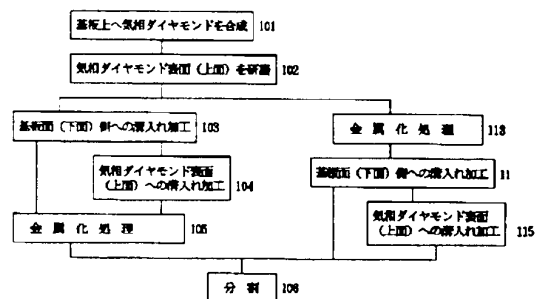
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンクとその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 量産性の高い製造方法を用いることによって低価格で高性能の上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンクを提供する。

【解決手段】 気相合成法により合成されたダイヤモンドを基板上にコーティングした複合板材を原材料として用い、少なくとも上下2面に金属化処理が施されたダイヤモンドヒートシンクにおいて、気相ダイヤモンド側面の一部又は全部がそのダイヤモンドヒートシンクの側面の外周全体にわたって機械的に分割されている部分を有することを特徴とするダイヤモンドヒートシンク。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 気相合成法により合成されたダイヤモンドを基板上にコーティングした複合基材を原材料として用い、少なくとも上下2面に金属化処理が施されたダイヤモンドヒートシンクにおいて、気相ダイヤモンド側面の一部又は全部がそのダイヤモンドヒートシンクの側面の外周全体にわたって機械的に分割されている部分を有することを特徴とするダイヤモンドヒートシンク。

【請求項2】 前記基板上にコーティングされた気相合成ダイヤモンドの厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【請求項3】 前記基板が $100\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上の熱伝導率をもつことを特徴とする請求項1に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【請求項4】 前記金属化処理が施された上下二面間の電気抵抗が $1\times 10^6\Omega$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【請求項5】 前記ダイヤモンドの側面の機械的に分割されている部分の下端は基板と気相合成ダイヤモンドとの界面に位置し、上端はその下端から $5\mu\text{m}$ 以上離れた位置にあることを特徴とする請求項1に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【請求項6】 前記気相合成法により合成されたダイヤモンドの熱伝導率が $500\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上 $2000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【請求項7】 前記ダイヤモンドヒートシンクの上面（ダイヤモンド面）が研磨され、研磨後の面粗度が $R_{\text{max}}\times 0.2\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【請求項8】 気相合成法により合成されたダイヤモンドを基板上にコーティングした複合基材を原材料として用い、少なくとも上下2面に金属化処理が施されたダイヤモンドヒートシンクの製造方法において、基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングする工程と、ダイヤモンド面を研磨する工程と、基板の下面（シリコン面）側から、ダイヤモンドソーを用いた切断機で最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と上下面に金属化処理を行う工程と、前記の切断機による切込みに沿って気相ダイヤモンド複合基板に剪断力をかけ機械的に分割し、最終製品であるヒートシンクを前記の複合基板から取り出す工程とを備えることを特徴とする、ダイヤモンドヒートシンクの製造方法。

【請求項9】 気相合成法により合成されたダイヤモンドを基板上にコーティングした複合基材を原材料として用い、少なくとも上下2面に金属化処理が施されたダイヤモンドヒートシンクの製造方法において、基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングする工程と、ダイヤモンド表面を研磨する工程と、気相ダイヤモンド面側か

ら、レーザーによって最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と基板の下面（シリコン面）側から、ダイヤモンドソーを用いた切断機で最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と上下面に金属化処理を行う工程と前記のレーザーによる切込みと切断機による切込みに沿って気相ダイヤモンド複合基板に剪断力をかけ機械的に分割し、最終製品であるヒートシンクを前記の複合基板から取り出す工程とを備えることを特徴とする、ダイヤモンドヒートシンクの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、気相合成法により合成されたダイヤモンドと基板とからなるヒートシンク及びその製造方法、特に該ダイヤモンド表面に金属化処理を施した上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンク及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ヒートシンク（放熱器）は、半導体レーザーダイオード、LED（発光ダイオード）、半導体高周波素子などのデバイスの動作時に発生する熱を効率よく放散させ、デバイスの温度を最適値に保ち、デバイスを安定動作させるために用いられる。このヒートシンクの種類は使用するデバイスの発熱量により選択される。ダイヤモンドは物質中もっとも熱伝導率が高いという性質があるため、発熱量の多いデバイス、たとえば、高出力半導体レーザー（通信用、光メモリ溶融、固体レーザー励起用）の放熱部材としてダイヤモンドを用いたダイヤモンドヒートシンクが用いられている。現状では、このダイヤモンドヒートシンクには気相合成法による、気相合成ダイヤモンドが主に用いられている。図2は従来の上下絶縁型気相ダイヤモンドヒートシンクの製造工程の工程図である。この図は公開特許公報、特開平5-114677号公報にある中村、井口らが発明をしたダイヤモンドヒートシンクの製造方法に基づく図である。

【0003】図2を参照して、従来の製造方法ではまず気相合成方法により多結晶ダイヤモンドが作製される（ステップ201）。この工程では基板上に気相合成ダイヤモンドが合成される。この時合成されるダイヤモンドの厚みは最終製品の厚さに、次の研磨工程の研磨しを加えた厚みである。次にダイヤモンドの表面を研磨し、ダイヤモンドの厚さが最終製品であるヒートシンクと同じ厚さになるまで研磨する。ダイヤモンド表面に研磨を施す理由は半導体デバイスとダイヤモンドヒートシンクの間に良好な熱接触状態を保つためであり、通常は $R_{\text{max}}\times 0.2\mu\text{m}$ 以下まで研磨される。次に最終製品には不要な基板が酸処理によって除去され、気相ダイヤモンドの薄板が準備される。次にダイヤモンドの薄板の上下面に金属化処理が施される（ステップ202）。そ

の後にこのダイヤモンドの薄板の表面に沿ってレーザーを用いて溝が形成される(ステップ203)。この金属化処理とレーザー加工の順序は逆でもよい(ステップ212、213)。最終工程としてレーザー加工による溝にそってダイヤモンドの薄板が機械的に分割され、ダイヤモンドヒートシンクが製造される。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記の様な従来の絶縁型ダイヤモンドヒートシンクの製造方法においては、気相ダイヤモンドの厚さを最終製品の厚さに研磨しろを加えた厚さまで合成する必要がある。気相合成法では、ダイヤモンドの成長速度は $1\mu\text{m/h}$ 程度である。そのため一般的なヒートシンクの厚さである $0.3\sim 0.5\text{mm}$ まで合成するためには数百時間もの時間を要するため、気相ダイヤモンドの合成コストが莫大なものとなり、低コスト化できないという問題点があった。

【0005】更に合成後の研磨にかかる時間は気相ダイヤモンド表面の面粗さの大小に比例し、気相ダイヤモンド表面の面粗度の大小は気相ダイヤモンドの厚さに比例する。 $0.3\sim 0.5\text{mm}$ の厚さにまで合成された気相ダイヤモンドの薄板の表面粗さは $R_{\text{max}}$ で $25\sim 50\mu\text{m}$ もあり、この表面を $R_{\text{max}}$ で $2\mu\text{m}$ 以下にまで鏡面加工するための時間は数十時間を要する。この研磨工程にかかるコストもダイヤモンドヒートシンクの製造コストを押し上げる大きな要因であった。

【0006】上記2つの問題点を解決する方法として、比較的高い熱伝導率を持つ基板上に薄く気相合成ダイヤモンドをコーティングし、気相ダイヤモンドと基板との複合構造のヒートシンクを従来の気相ダイヤモンドヒートシンクの替わりに用いるという方法が容易に考え得る。図3に本発明の気相ダイヤモンド複合基板の製造工程(a)(図の左側)と、従来の製造方法による気相ダイヤモンド薄板の製造工程(b)(図の右側)とを比較した模式図を示す。工程(a)では、先ず①基板上に気相ダイヤモンドを合成し(比較的合成時間は短い)、次いで②気相ダイヤモンド表面を所定の面粗度になるまで比較的短い時間研磨し、工程(b)では、①比較的長い時間かけて基板上に気相ダイヤモンドを合成し、次に②気相ダイヤモンド表面を所定の面粗度になるまで比較的長い時間研磨し、③更に基板を除去して気相ダイヤモンドの薄板を得る。製造工程(a)によるダイヤモンド複合基板を用いたダイヤモンドヒートシンクの特徴は半導体デバイスが発生する熱量を横方向に放散させることで高い放熱性を維持するとともに、ダイヤモンドの膜厚を薄くすることで合成コストと研磨コストを削減し、さらに安価な基板を用いることで大幅な低価格化が実現可能なことである。

【0007】しかしながら図2の上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンクの製造方法を気相ダイヤモンド複合基板に適用すると、気相ダイヤモンド部分を全てレーザーで

切断してしまうことになる。ダイヤモンドがレーザー加工されると加工時に発生する熱によってダイヤモンドは導電性のあるグラファイト(すす)に変質してしまい、半導体デバイス用ヒートシンクに要求される絶縁を確保することができない。またダイヤモンドに入ったレーザー溝に沿って機械的な力を加えることによって分割しようとする、基板が垂直に割れずヒートシンクに要求される寸法精度を達成できないという問題点があった。本発明は上記のような問題点を解決するためになされたもので、安価で、高い熱伝導率を有し、加工が容易で歩留りがよく、かつ量産性の高いダイヤモンドヒートシンクとその製造方法を提供することを目的とする。

【0008】すなわち本発明の目的は量産性の高い製造方法を用いることによって、高性能の上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンクを低価格で提供することにある。前述のように気相ダイヤモンドをコーティングした複合基板を利用して安価なヒートシンクを供給するための最大の技術課題は分割後も上下面の間に半導体デバイス用ヒートシンクに必要な電気絶縁性を確保することである。本発明者らは種々検討した結果、気相ダイヤモンド自身もつ電気絶縁性を利用して目標とする電気絶縁性を達成することに成功した。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】上記の本発明の目的は、下記各発明によって達成することができる。

(1) 気相合成法により合成されたダイヤモンドを基板上にコーティングした複合基板を原材料として用い、少なくとも上下2面に金属化処理が施されたダイヤモンドヒートシンクにおいて、気相ダイヤモンド側面の一部又は全部がそのダイヤモンドヒートシンクの側面の外周全体にわたって機械的に分割されている部分を有することを特徴とするダイヤモンドヒートシンク。

(2) 前記基板上にコーティングされた気相合成ダイヤモンドの厚さが $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $20\mu\text{m}$ 以上 $60\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする上記(1)に記載のダイヤモンドヒートシンク。

(3) 前記基板が $100\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以上、好ましくは $120\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以上の熱伝導率をもつことを特徴とする上記(1)に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【0010】(4) 前記金属化処理が施された上下二面間の電気抵抗が $1\sim 10^5\Omega$ 以上であることを特徴とする上記(1)に記載のダイヤモンドヒートシンク。

(5) 前記ダイヤモンドの側面の機械的に分割されている部分の下端は基板と気相合成ダイヤモンドとの界面に位置し、上端はその下端から $5\mu\text{m}$ 以上、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以上離れた位置にあることを特徴とする上記

(1)に記載のダイヤモンドヒートシンク。

(6) 前記気相合成法により合成されたダイヤモンドの熱伝導率が $500\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以上 $2000\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以下、好ましくは $1000\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以上 $2000\text{W/m}$

・K以下であることを特徴とする上記(1)に記載のダイヤモンドヒートシンク。

【0011】(7)前記ダイヤモンドヒートシンクの上面(ダイヤモンド面)が研磨され、研磨後の面粗度が $R_{max}$ で $0.2\mu m$ 以下であることを特徴とする上記(1)に記載のダイヤモンドヒートシンク。

(8)気相合成法により合成されたダイヤモンドを基板上にコーティングした複合基板を原材料として用い、少なくとも上下2面に金属化処理が施されたダイヤモンドヒートシンクの製造方法において、基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングする工程と、ダイヤモンド面を研磨する工程と、基板の下面(シリコン面)側から、ダイヤモンドソーを用いた切断機で最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と上下面に金属化処理を行う工程と、前記の切断機による切込みに沿って気相ダイヤモンド複合基板に剪断力をかけ機械的に分割し、最終製品であるヒートシンクを前記の複合基板から取り出す工程とを備えることを特徴とする、ダイヤモンドヒートシンクの製造方法。

【0012】(9)気相合成法により合成されたダイヤモンドを基板上にコーティングした複合基板を原材料として用い、少なくとも上下2面に金属化処理が施されたダイヤモンドヒートシンクの製造方法において、基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングする工程と、ダイヤモンド表面を研磨する工程と、気相ダイヤモンド面側から、レーザーによって最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と基板の下面(シリコン面)側から、ダイヤモンドソーを用いた切断機で最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と上下面に金属化処理を行う工程と前記のレーザーによる切込みと切断機による切込みに沿って気相ダイヤモンド複合基板に剪断力をかけ機械的に分割し、最終製品であるヒートシンクを前記の複合基板から取り出す工程とを備えることを特徴とする、ダイヤモンドヒートシンクの製造方法。

【0013】この発明によればまず基板上に気相合成法によってダイヤモンドをコーティングする。次にダイヤモンド表面の研磨加工によって複合基板の厚さを最終製品であるヒートシンクと同じ厚さにまで加工する。次に基板への溝加工を行う。そのためにまず複合基板を基板側を上に向けて保持する。そしてダイヤモンドソーを用いた切断機によって最終製品であるヒートシンクの形状に溝加工が施される。次の工程としてダイヤモンド側を上に向けて保持しレーザーで溝加工する工程をいれてもよい。次に上下面に金属化処理が施される。最終工程としてダイヤモンドソーで加工された溝にそって機械的に力を加えて気相ダイヤモンド複合基板を一気に分割し最終製品であるヒートシンクを製造する。

【0014】以上のように最後の分割工程の前に基板側に溝入れを施しておくことで、分割に必要な剪断力を減

小さえることができ分割が容易になる。また分割による割れが垂直に発生し、精度よく歩留りよく、量産性よく上下絶縁型の複合ヒートシンクを製造することができる。基板への溝加工がなければ最後の分割工程で基板の割れる方向がバラバラになってしまい、正確な形状のヒートシンクを製造することができない。分割工程では気相ダイヤモンド全体あるいは一部が機械的に分割されるためダイヤモンド自身がもつ電気絶縁性によってヒートシンクの上下面間に絶縁を確保することができる。

【0015】本発明において、「機械的に分割される」とは次のような意味を有する。すなわち、気相合成法によってダイヤモンドを合成するとまず、点状に「核」が発生し、その核が徐々に大きく成長し「粒」になる。個々の「粒」が成長していく過程で、近接する「粒」と接触し、「膜」になりさらに成長して膜が厚くなっていく。材質としては全く同じダイヤモンドでも「粒」どうしは溶けるように合体することではなく、結晶方位が異なるため「粒」と「粒」の境界が残り、いわゆる「粒界」を形成する。この「粒界」は結晶方位が異なる「粒」の界面であるため、当然機械的せん断力に大して弱いと考えられる。本発明の様にダイヤモンドの膜に機械的せん断力をかけると、粒界から割れると考えられる。しかし「粒」の内部で割れる可能性もあるので、本発明の機械的に分割されている部分は、実質的に上記のような「粒界」若しくは「粒内」の割れている部分を包含するものである。本発明では、このようなダイヤモンドの機械的に割れた部分をヒートシンクの側方に存在させることにより電気絶縁性を付与するもので、機械的に割れた部分が厚ければ厚いほど電気絶縁性が向上する。そして機械的に分割された部分はレーザーを用いる場合は「ダイサーによる溝の底からレーザーによる浅い溝の底まで」であり、レーザーを用いていない場合は「ダイサーによる溝の底から表面部分まで」となる。したがって、電気絶縁性に関してはレーザーを用いていない方が好ましいが、分割後の精度の点ではレーザー加工を取り入れた方がよい。

【0016】

【発明の実施の形態】図1は本発明におけるダイヤモンドヒートシンクの製造方法を示す工程図である。図1を参照して本発明のダイヤモンドヒートシンクの製造方法について説明する。本発明によればまず基板上に気相合成法によってダイヤモンドをコーティングする(ステップ101)。次にダイヤモンド表面の研磨加工によってダイヤモンド面の面粗度を $R_{max}$ で $0.2\mu m$ 以下にまで加工し、同時に複合基板の厚さを最終製品であるヒートシンクと同じ厚さにまで加工する(ステップ102)。研磨後のダイヤモンドの厚みは $10\mu m$ 以上 $100\mu m$ 以下、好ましくは $20\mu m$ 以上 $60\mu m$ 以下である。次に基板(下面側)への溝加工を行う(ステップ103)。複合基板を基板側を上に向けて保持しダイヤモ

ンドソーを用いた切断機によって最終製品であるヒートシンクの形状に溝加工を施す。この時の溝深さは基板と気相ダイヤモンドとの界面に近ければ近いほどよいが、界面にまで切り込むとダイヤモンドソーが割れたり気相ダイヤモンドと基板とがはがれたりするので注意が必要である。界面から50 $\mu$ m程度の距離まで溝入れ加工することが望ましい。図1にあるように次の工程として複合基板をダイヤモンド側を上に向けて保持しレーザーで溝加工する工程を入れてもよい(ステップ104)。気相合成ダイヤモンドの厚みが50 $\mu$ m以上の場合、最後の分割工程で精度よく割れて歩留りが向上するためレーザー溝加工工程を入れるほうが好ましい。50 $\mu$ m未満であればこの工程を省略してもよい。次に上下面に金属化処理が施される(ステップ105)。この金属化処理工程は一連の溝入れ工程よりも先に施してもよい(ステップ113、114、115)。最終工程としてダイヤモンドソーで加工された溝(あるいはレーザーで加工した溝)に沿って機械的に力を加えて気相ダイヤモンド複合基板を一気に分割し最終製品であるヒートシンクを製造する(ステップ106)。

【0017】このようにして製造されたダイヤモンドヒートシンクの断面は上記(1)に記載のようにダイヤモンドの側面の1部または全部がヒートシンクの外周全体にわたって機械的に分割されている部分を有することになる。図4に上記の気相ダイヤモンド複合基板からヒートシンクを製造する工程の模式図を示す。

【0018】図5は基板側の溝加工にダイヤモンドソーを使用し、分割した気相合成複合ダイヤモンドヒートシンクの断面の模式図である。ヒートシンクは上から金属膜、気相ダイヤモンド部分、基板部分、金属膜という構

成になっている。気相ダイヤモンドと基板にはそれぞれ機械的に割れた部分が存在する。

【0019】上記(2)に記載の気相ダイヤモンド複合ヒートシンクにおいてはダイヤモンドの厚さが10 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下、好ましくは20 $\mu$ m以上60 $\mu$ m以下である。10 $\mu$ m以上ないとたとえダイヤモンドとはいえ十分な放熱性を維持することは難しい。また100 $\mu$ m以上の厚さまでコーティングすることは合成時間が長時間となり合成コストがかかりすぎてしまう。これでは低価格なヒートシンクを提供するという目的を達成することができない。

【0020】上記(3)に記載の気相ダイヤモンド複合ヒートシンクにおいては、ダイヤがコーティングされる基板が100W/m $\cdot$ K以上、好ましくは120W/m $\cdot$ K以上の熱伝導率をもつものである。一般に気相ダイヤモンドがコーティング可能で100W/m $\cdot$ K以上の熱伝導率をもつ基板としてはシリコン、窒化アルミニウム、銅タングステン合金、モリブデン、タングステンのいずれかである。表1にこれら材料の特性をまとめる。基板の熱伝導率を100W/m $\cdot$ K以上に規定する理由は、ダイヤモンドと基板を合わせた複合基板を材料としてヒートシンクとして使用する場合、ダイヤモンドだけでなく基板の熱伝導率も性能に影響を与える重要な要因であるためである。本発明者らが種々検討した結果、高出力半導体レーザー用のヒートシンクに要求される放熱性を達成するためには基板の熱伝導率が100W/m $\cdot$ K以上が必要であることがわかった。

【0021】

【表1】

表1 各種材料の物性値

	単結晶 ダイヤモンド	気相合成 ダイヤモンド	シリコン	窒化アル ミニウム	銅タング ステン合金	モリブデン	タングステ ン
密度 g/cm <sup>3</sup>	3.52	3.52	2.3	3.3	16.4	10.2	19.3
熱伝導率 W/m $\cdot$ K	2000	1000	140	180	250	140	180
熱膨張率 $\times 10^{-6}/K$	2.3	—	4.2	4.4	—	5.1	4.5
比熱 J/g $\cdot$ K	0.42	—	0.68	0.67	—	0.242	0.133
比抵抗 $\Omega$ cm	10 <sup>16</sup>	5 $\times 10^{16}$	2.3 $\times 10^5$	10 <sup>13</sup>	3.4 $\times 10^{-6}$	5.2 $\times 10^{-6}$	5.7 $\times 10^{-6}$

【0022】上記(4)に記載の気相ダイヤモンド複合ヒートシンクにおいては、金属化処理が施された上下二面間の電気抵抗が1 $\times 10^6$  $\Omega$ 以上であることを特徴している。一般に半導体レーザーの発振に必要な電気絶縁抵抗が1 $\times 10^6$  $\Omega$ であり、これ以下の抵抗値になると半導体レーザーの特性が低下する。

【0023】上記(5)に記載の気相ダイヤモンド複合ヒートシンクにおいては、気相ダイヤモンド側面で割れている部分の下端は基板と気相合成ダイヤモンドとの界面であり、上端はその界面から5 $\mu$ m以上離れた位置にあることを特徴としている。これは上記(4)に示した電気抵抗値である10<sup>6</sup> $\Omega$ を実現するためには最低でも

金属あるいはグラファイトが付着していない領域のダイヤモンドの厚さ（あるいは「ダイヤモンドが機械的に割られた部分の厚さ」といいかえてもよい）が $5\mu\text{m}$ 以上必要であることを示している。図1のレーザー加工工程（ステップ104、115）を採用する場合でもレーザーはダイヤモンド全てを切断せず、ダイヤモンドと基板との界面から高さ $5\mu\text{m}$ は未加工のまま残さねばならない。

【0024】上記（6）に記載の気相ダイヤモンド複合ヒートシンクにおいては、ダイヤモンドの熱伝導率が $500\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上 $2000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以下、好ましくは $1000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上 $2000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以下である。気相合成ダイヤモンドの熱伝導率は合成条件によって変動する。高出力半導体レーザー用のヒートシンクに要求される放熱性を達成するためには、気相ダイヤモンドの熱伝導率が最低でも $500\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ が必要である。また上限の $2000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ はダイヤモンド単結晶のもちうる熱伝導率として最高の値である。

【0025】上記（8）に記載のダイヤモンドヒートシンクにおいてはダイヤモンド側表面の $R_{\text{max}}$ が $0.2\mu\text{m}$ 以下である。表面を研磨せず、合成直後の凹凸状態のままレーザー素子をろう付けすれば、この場合もレーザー素子とヒートシンクとの接触面積が小さくなり、放熱性が低下する。またろう付け時にろう材が凹凸部分に流れ込んでしまい、ろう付けの強度が不十分となる。

【0026】上記（9）に記載のダイヤモンドヒートシンクの製造方法は、基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングする工程と、ダイヤモンド表面を研磨する工程と基板の下面（シリコン面）側から、ダイヤモンドソーを用いた切断機で最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と、上下面に金属化処理を行う工程と、前記の切断機による切込みに沿って気相ダイヤモンド複合基板に剪断力をかけ機械的に分割し、最終製品であるヒートシンクを前記の複合基板から取り出す工程とを備えているものである。ここで、研磨工程は一般にダイヤモンド砥粒をメタルボンドで固めた砥石を用いて行い、ダイヤモンドソーはダイヤモンド砥粒をメタルボンドで固めた切断刃を用いる。金属化処理は後述する。

【0027】上記（10）に記載のダイヤモンドヒートシンクの製造方法は、基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングする工程と、ダイヤモンド表面を研磨する工程と、気相ダイヤモンド面側から、レーザーによって最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と、基板の下面（シリコン面）側から、ダイヤモンドソーを用いた切断機で最終製品であるヒートシンクの形状に切込みを入れる工程と、上下面に金属化処理を行う工程と、前記のレーザーによる切込みと切断機による切込みに沿って気相ダイヤモンド複合基板に剪断力をかけ機械的に分割し、最終製品であるヒートシンクを前記の複合基板から取り出す工程とを備えているものである。

【0028】以上のダイヤモンドヒートシンクの製造方法によって作製されるダイヤモンドヒートシンクの側面は、気相ダイヤモンドの1部または全部がヒートシンクの外周にわたって機械的に分割された跡がある。そしてこの部分が上下面の電気絶縁確保に寄与し、十分な電気抵抗を確保している。またこの製造方法では複合基板を用いるためダイヤモンドの合成コスト、研磨コストを削減できる。さらに一度に大量に分割できるため生産性が大きく向上し、安価なヒートシンクを供給することができる。

【0029】本発明で採用する金属化処理は、レーザー素子のろう付けおよびヒートシンク自体のステムへのろう付けに必要である。また金属化処理によってダイヤモンドの表面に形成される金属化膜は、複数層からなるのが好ましい。その第1層が、Ti、Cr、W、Niの一種以上によって形成され、その第2層が、Pt、Pd、Ni、Mo、Au、Ag、Cu、Sn、In、Ge、Pbの一種以上（単体膜、合金膜、または多層膜）から形成されていることが望ましい。この第1層の金属はダイヤモンドと反応し接着力を高める役割をもつ。また第2層の金属は、耐熱性およびろう付け性に貢献する役割をなす。このような金属化膜は蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法等公知の方法によって形成する。完成されたヒートシンクの標準的な寸法範囲は、厚さが $0.1\text{mm}$ 以上 $1\text{mm}$ 以下であり、縦、横の長さが $0.2\text{mm}$ 以上 $50\text{mm}$ 以下である。

【0030】以下本発明を実施例により更に詳細に説明するが限定を意図するものではない。

【実施例】（実施例1）図1は本発明におけるダイヤモンドヒートシンクの製造方法を示す工程図である。図1におけるレーザー加工なしの製造工程（ステップ101、102、103、105、106）について説明する。まず、気相合成ダイヤモンドをシリコン基板上に熱フィラメント法により合成した。シリコン基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングした複合基板の形状は、厚さが $0.32\text{mm}$ （うち気相ダイヤモンドの厚さは $0.04\text{mm}$ ）、縦横の長さが $20.5\text{mm}$ であった。この複合基板はさらに気相ダイヤモンド表面の研磨によって厚さが $0.3\text{mm}$ となるまで加工された。結果として気相ダイヤモンドの厚さは $0.02\text{mm}$ となった。この研磨で気相ダイヤモンド表面の面粗さは $R_{\text{max}}0.18\mu\text{m}$ まで仕上げられた。次にシリコン側からダイサーを用いて溝入れ加工を施した。加工条件は、刃幅 $20\mu\text{m}$ 、回転数 $30000$ 回転、加工速度 $50\text{mm}/\text{s}$ であり、 $1.0\text{mm}$ ピッチで溝が縦横に施された。次に溝入れ加工が施された複合基板の上下両面にスパッタ法によって金属化処理を施した。この金属化処理によって、Ti（チタン）、Pt（白金）、Au（金）の順で金属膜が形成された。それぞれの厚みはTiが $100\text{nm}$ 、Ptが $200\text{nm}$ 、Auが $1000\text{nm}$ であった。

た。さらにこの金属化処理された上下面の上面（気相ダイヤモンド面）側に、蒸着法によってAu—Snの共晶合金の金属化膜を被覆した。このAu—Sn共晶合金の厚みは3 $\mu$ mであった。Au—Snは半導体素子をヒートシンク上に搭載するためのハンダであり、Au—Snをダイヤモンド面側に被覆し、その上に半導体素子を搭載する方がより高い放熱効果が得られる。

【0031】次に図4のようにダイサーにより加工された溝の位置に合わせて複合基板が固定され、固定部分の反対側が溝に沿って加圧され、分割された。この分割工程は縦横に1.0mmピッチで行った。予定取れ数400個に対して392個が得られ、歩留り98%であった。不良となった8個は気相ダイヤモンド膜とシリコン基板とののがれであった。図4のように加圧方向がダイヤモンド側からシリコン側へ向かっているのは、ダイヤモンド膜とシリコン基板とののがれを極力少なくするためである。加圧方向が逆の場合にはこれほどの歩留りは期待できない。

【0032】この様にして製作されたダイヤモンドヒートシンクの上下面間の金属化膜間の電気抵抗は $1 \times 10^{-7} \Omega$ であった。なお前記熱フィラメント法で合成した気相合成ダイヤモンドの熱伝導率は定常法による測定により室温から100℃の範囲において800~1000W/m $\cdot$ Kであり、同様にシリコンの熱伝導率は室温から100℃の範囲において140W/m $\cdot$ Kであることが確認された。

【0033】図5は上記製造方法によって製造されたダイヤモンドヒートシンクの断面図である。図5を参照すると、ダイヤモンドヒートシンクは気相合成ダイヤモンドとシリコン、金属化膜、およびAu/Sn共晶合金から構成されている。上下両面にはそれぞれTi、Pt、Auの順に3層から成る金属化膜が接している。そしてダイヤモンド面側にはAu/Sn共晶合金からなる金属化膜が被覆されている。断面の形状をよく観察すると気相ダイヤモンドとシリコンとの界面まで50 $\mu$ mのところまでダイサーによって溝加工の跡が存在している。そして気相合成ダイヤモンドはその界面から上端までの20 $\mu$ mの厚さにわたって機械的に割られている。なおこの製造工程では金属化処理の工程を図1のステップ（101、102、113、114、106）の工程の様にダイシング工程の前に行っても同様の効果が得られた。

【0034】この時製作したヒートシンクの製造コストは図2に示す従来の気相ダイヤモンドヒートシンクの製造方法に基づいて製作したヒートシンクの製造コストの約1/30であった。次にこのヒートシンクの性能を見極めるため、このヒートシンク上に実際にガリウムひ素を材料とするレーザーダイオードを実装し、レーザーの出力を測定した。実験は（1）本発明の気相ダイヤモンドヒートシンクを用いた場合、（2）シリコンをヒートシンクとして用いた場合、（3）単結晶ダイヤモンドを

ヒートシンクとして用いた場合について行った。レーザーの出力がヒートシンクの熱伝導率に比例するとすれば、本発明の気相ダイヤモンドヒートシンクの熱伝導率は600W/m $\cdot$ Kであった。以上より本発明によって安価で高性能なヒートシンクを提供できることが証明された。

【0035】（実施例2）図1におけるレーザー加工ありの製造工程（ステップ101、102、103、104、105、106）について説明する。まず、気相合成ダイヤモンドを窒化アルミニウム基板上に熱フィラメント法により合成した。この窒化アルミニウム基板上に気相合成ダイヤモンドをコーティングした複合基板の形状は、厚さが0.53mm（うち気相ダイヤモンドの厚さは0.08mm）、縦横の長さが50.5mmであった。この複合基板はさらに気相ダイヤモンド表面の研磨によって厚さが0.5mmまで加工された。結果として気相ダイヤモンドの厚さは0.05mmとなった。この研磨で気相ダイヤモンド表面の面粗さはRmax0.20 $\mu$ mまで仕上げられた。次に窒化アルミニウム側からダイサーを用いて溝入れ加工を施した。加工条件は、刃幅30 $\mu$ m、回転数10000回転、加工速度20mm/sであり、5.0mmピッチで溝が縦横に施された。そして次にダイサーでの溝加工位置に合わせて、YAGレーザーによって溝入れ加工を施した。このレーザーによる溝入れ加工の条件は出力が1.5W、Qスイッチ周波数が3kHz、加工速度が20mm/s、スキャン回数が1回であった。この時の上下の溝のずれは6 $\mu$ mであり、レーザーによる溝幅が15 $\mu$ m、ダイサーによる溝幅が30 $\mu$ mであることを考えればほとんど無視し得るずれといえた。また、レーザー溝深さは平均15 $\mu$ mであった。

【0036】次に溝入れ加工が施された複合基板の上下両面にスパッタ法によって金属化処理を施した。この金属化処理によって、Ti（チタン）、Pt（白金）、Au（金）の順で金属膜が形成された。それぞれの厚みはTiが60nm、Ptが200nm、Auが1000nmであった。さらにこの金属化処理された上下面の上面（気相ダイヤ面）側に、蒸着法によってAu/Snの共晶合金の金属化膜を被覆した。このAu/Sn共晶合金の厚みは1 $\mu$ mであった。

【0037】次に図4のようにダイサーにより加工された溝の位置に合わせて複合基板が固定され、固定部分の反対側が溝に沿って加圧され、分割された。この分割工程は縦横に5.0mmピッチで行い、加圧方向は気相ダイヤモンド側から窒化アルミニウム基板側であった。レーザーによってダイヤモンド側に溝加工をあらかじめ施しておくことで、この分割工程で必要な剪断力を減少させることができ、分割工程での歩留りを高めることができた。本実施例では予定取れ数100個全てが分割で取り出すことができ歩留り100%であった。この様にし



で製作されたダイヤモンドヒートシンクの上下面の金属化膜間の電気抵抗は $3 \cdot 10^{-7} \Omega$ であった。なお前記熱フィラメント法で合成した気相合成ダイヤモンドの熱伝導率は定常法による測定により室温から $100^\circ\text{C}$ の範囲において $800 \sim 1000 \text{ W} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$ であり、同様に窒化アルミニウムの熱伝導率は室温から $100^\circ\text{C}$ の範囲において $170 \text{ W} \cdot \text{cm} \cdot \text{K}$ であることが確認された。

【0038】図6は上記製造方法によって製造されたダイヤモンドヒートシンクの断面図である。図6を参照して、ダイヤモンドヒートシンクは気相合成ダイヤモンドと窒化アルミニウム、金属化膜、およびAu/Sn共晶合金から構成されている。上下両面にはそれぞれTi、Pt、Auの順に3層から成る金属化膜が接している。そしてダイヤモンド面側にはAu/Sn共晶合金からなる金属化膜が被覆されている。断面の形状をよく観察すると気相ダイヤモンドと窒化アルミニウムとの界面まで $50 \mu\text{m}$ のところまでダイサーによって溝加工の跡が存在している。またYAGレーザーによる切込みは気相ダイヤモンドと窒化アルミニウムの界面まであと $30 \mu\text{m}$ のところまで到達しており、レーザーによって溝入れされた部分は熱によってダイヤモンドがグラファイトに変質している。なおこの製造方法では金属化処理の工程を図1のステップ(101、113、114、115、106)の工程の様にダイシング工程の前にもおこなっても同様の効果が得られた。

【0039】

【発明の効果】本発明による気相合成ダイヤモンドと基板とからなるヒートシンクは、上下2面のダイヤモンド表面に金属化処理を施された上下絶縁型ヒートシンクであり、その側面の外周全体にわたって機械的に分割されている部分を有し、それにより特に半導体デバイス用ヒートシンクに必要な電気絶縁性を確保することができる。またその製造方法によると高性能の上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンクを低コストで提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンクの製造工程を説明するためのフローシート。

【図2】従来の上下絶縁型ダイヤモンドシンクの製造工程を説明するためのフローシート。

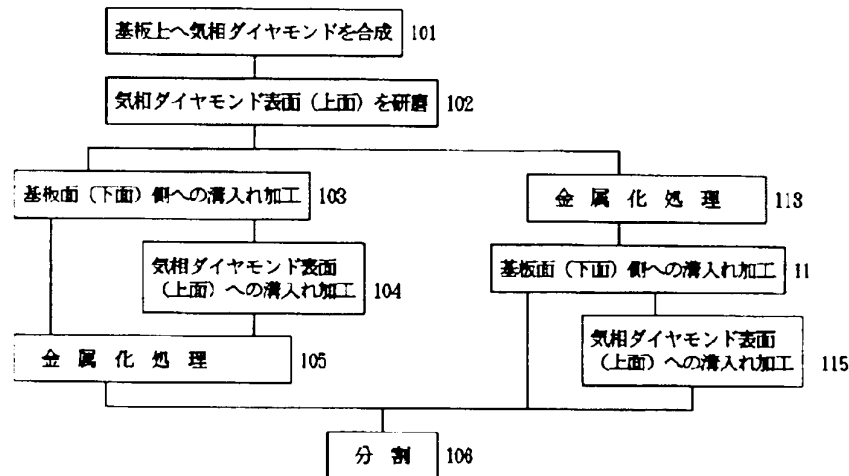
【図3】気相合成ダイヤモンド複合基板及び気相ダイヤモンド薄板の製造工程を説明するための模式図。

【図4】気相合成ダイヤモンド複合基板を機械的に縦横に分割してヒートシンクの最終製品を製造する工程を示す模式図。

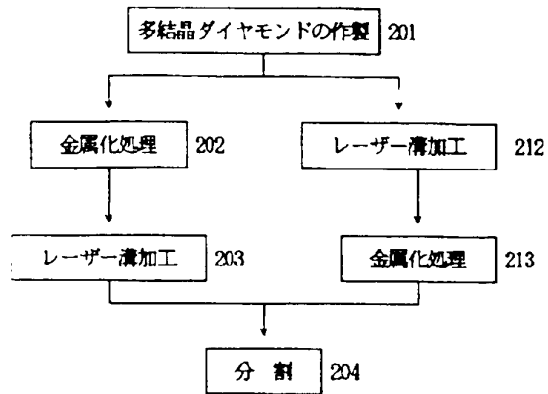
【図5】本発明に係る上下2面に金属化膜を形成してなるダイヤモンドヒートシンクの断面図。

【図6】本発明に係る上下絶縁型ダイヤモンドヒートシンクの側面の割れた部分を説明するための模式図。

【図1】

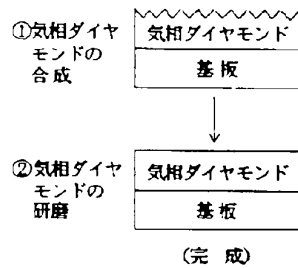


【図2】

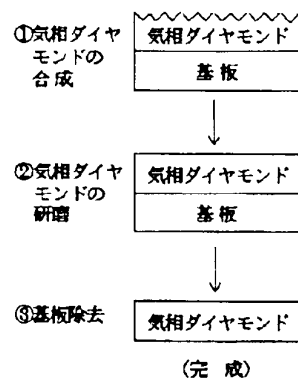


【図3】

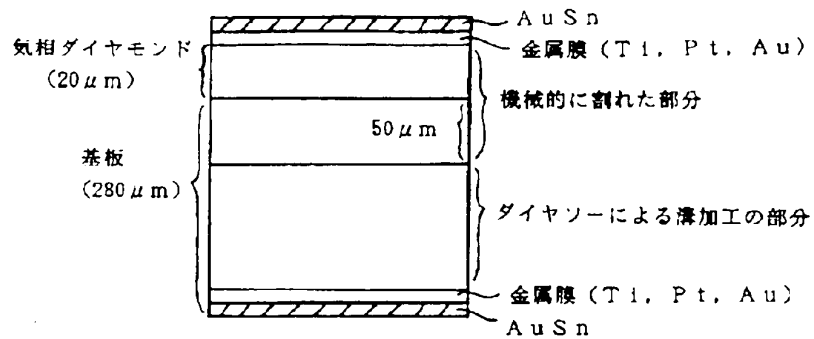
(a) 気相ダイヤモンド複合基板の製造工程



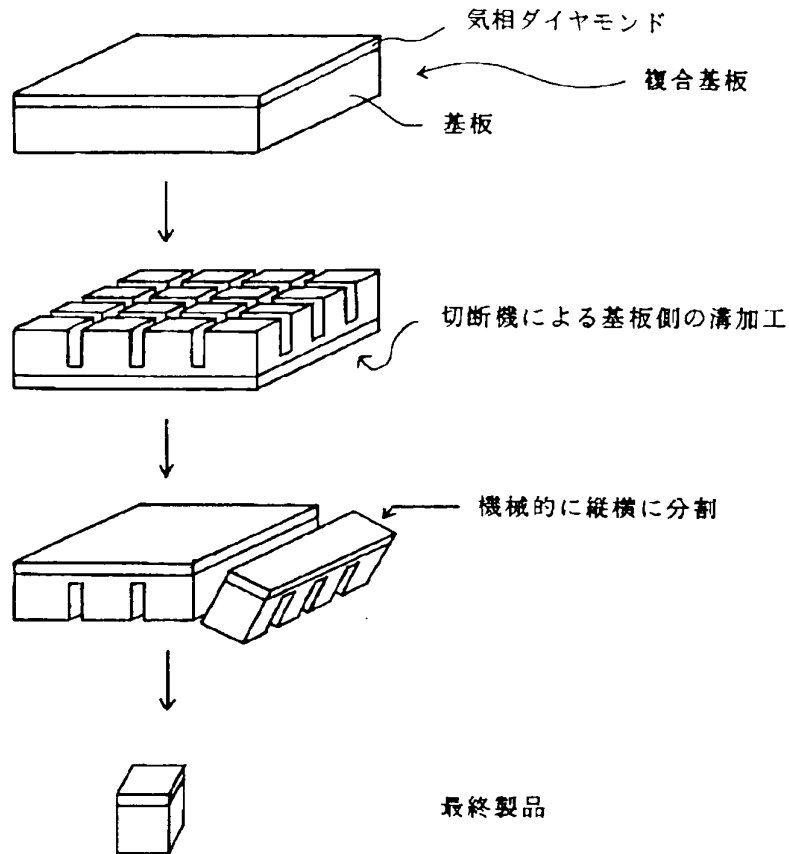
(b) 気相ダイヤモンド薄板の製造工程



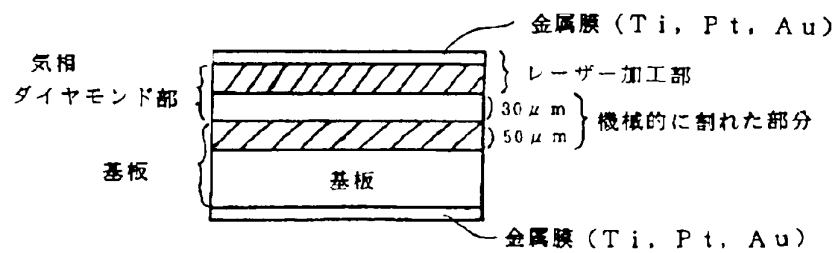
【図5】



【図4】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 田辺 敬一郎  
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 5F036 AA01 BB01 BC06 BD01 BD16